
UNIVERSITI SAINS MALAYSIA

Peperiksaan Semester Kedua
Sidang Akademik 2005/2006

April/Mei 2006

EEM 232 – SISTEM MEKATRONIK

Masa : 3 Jam

ARAHAN KEPADA CALON:-

Sila pastikan kertas peperiksaan ini mengandungi **ENAMBELAS** muka surat bercetak sebelum anda memulakan peperiksaan ini.

Jawab **LIMA** (5) soalan.

Semua soalan hendaklah dijawab dalam Bahasa Malaysia.

...2/-

1. (a) Menggunakan lakaran gambarajah yang kemas, terangkan dua kaedah praktikal untuk mengurangkan kesan alam sekitar terhadap sistem pengukuran.

Using neatly drawn diagrams, explain two practical methods to reduce environmental effects on measuring system.

(40 marks)

- (b) Rajah 1(b) menunjukkan thermometer jenis tekanan. Peralatan ini mengandungi mentol yang dipenuhi cecair dan tekanan dalam meningkat dengan peningkatan suhu akibat daripada pengembangan termal terkenkang cecair ini. Tekanan akan dipindahkan melalui tiub kepada tolok tekanan jenis Bourdon, yang menukar tekanan kepada sesaran. Sesaran ini akan dimanipulasi oleh penghubung dan gear untuk meningkatkan gerakan penunjuk. Kedua-dua skala dan penunjuk merupakan system persembahan data.

Figure 1(b) depicts a pressure-type thermometer. The instrument comprises of liquid filled bulb whose internal pressure increases with temperature because of the constrained thermal expansion of the filling liquid. The pressure is transmitted through the tube to a Bourdon-type pressure gauge, which converts pressure to displacement. This displacement is manipulated by the linkage and gearing to give a larger pointer motion. A scale and pointer serve as data presentation.

- (i) Cam input yang dikehendaki, dan jikalau ada, input perubahan dan gangguan.

Identify the desired, and if any, the modified and the interfering inputs.

(20 marks)

...3/-

- (ii) Cam semua transduser di dalam sistem pengukuran.

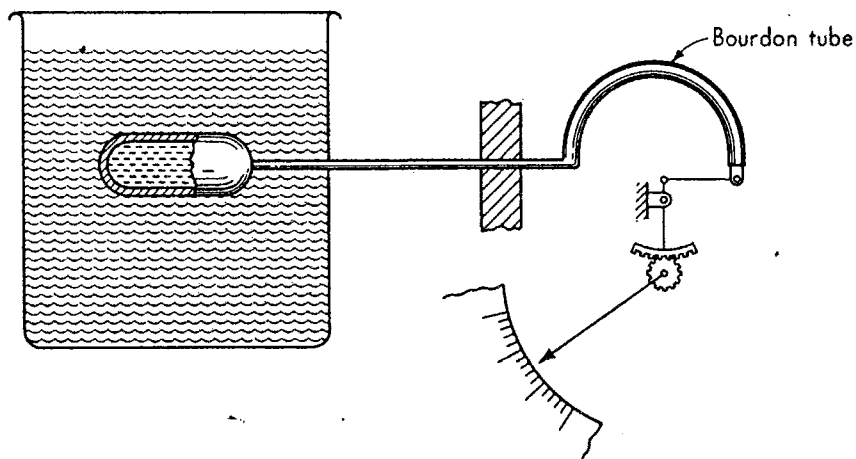
Identify all transducers in the measuring system.

(20 marks)

- (iii) Lakar gambarajah blok sistem

Sketch the block diagram of the system.

(20 marks)



Rajah 1(b)
Figure 1(b)

2. (a) Menggunakan rajah yang sesuai, jelaskan dua teknik untuk mengurangkan tak-lineariti peralatan.

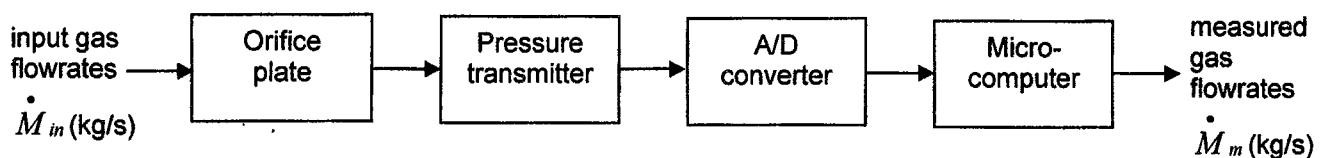
Using suitable diagrams, describe clearly two techniques to reduce instrument non-linearity.

(40 marks)

...4/-

- (b) Di dalam sebuah loji kimia yang besar, sistem peralatan untuk mengukur kadar aliran jisim gas termampat yang mengalir di dalam sebuah paip telah diperkenalkan. Sistem ini berasaskan kepada pengukuran tekanan perbezaan yang mengandungi plat Orifis, penghantar tekanan perbezaan, penukar analog ke digit (A/D) dan mikrokomputer dengan kemudahan paparan berwarna. Penghantar tekanan akan memampas kesan tak-lineariti yang diakibatkan oleh plat Orifis dan mikrokomputer akan mengira kadar aliran gas yang terukur di dalam kg/s. Rajah 2(b) menunjukkan gambarajah blok sistem pengukuran dan Jadual 2(b) memberikan semua persamaan model dan parameter untuk setiap elemen.

In a large chemical plant, an instrumentation system for measuring the mass flow rate of some compressible gas flowing down in large pipelines has been introduced. The system is based on differential pressure measurement consisting of an Orifice plate, differential pressure transmitter, analogue to digital (A/D) converter and a microcomputer with colour display facilities. The pressure transmitter compensates the non-linearity effects caused by the Orifice plate and the microcomputer calculates the measured values of the gas flow rates in kg/s. Figure 2(b) shows the block diagram of the measuring instrument and Table 2(b) gives the model equations and parameters for each element.



Rajah 2(b)
Figure 2(b)

...5/-

	Orifice Plate	Pressure transmitter	A/D	Micro-computer
Model Equation	$\Delta P = \left(\frac{\dot{M}}{\varepsilon} \right) \sqrt{\frac{1 - k_1^2}{2\rho}}$	$i = (10k_2 + e^{-\Delta P})^4$	Linear sensitivity, k_3	Linear sensitivity, k_4
Mean values	$\bar{k}_1 = 0.25$ $\bar{\varepsilon} = 0.56$ $\bar{\rho} = 10.0$	$\bar{k}_2 = 5 \times 10^{-3}$	$\bar{k}_3 = 10$	$\bar{k}_4 = 5$
Statistical distributions	<u>Gaussian</u> $\sigma_{k_1} = 0.01$ $\sigma_{\rho} = 1.5$ $\sigma_{\varepsilon} = 0$	<u>Gaussian</u> $\sigma_{k_2} = 1 \times 10^{-4}$	<u>Rectangular</u> $h_{k_3} = 0.01$	<u>Rectangular</u> $h_{k_4} = 1.2$

Jadual 2(b)
Table 2(b)

- (i) menggunakan data di dalam Jadual 2(b), kira nilai purata dan sisihan piawai fungsi ketumpatan bagi ralat apabila kadar aliran gas \dot{M}_in ialah 2 kh/s. Andaikan taburan segiempat adalah Gaussian dengan sisihan piawai $\sigma = \frac{h}{\sqrt{3}}$.

using the data given in Table 2(b), determine the mean and standard deviation of the error probability density function when the gas input flowrate \dot{M}_in is 2 kg/s. Treat the rectangular distribution as Gaussian with standard deviation $\sigma = \frac{h}{\sqrt{3}}$.

(50 marks)

...6/-

- (ii) Daripada (i), bincang kesesuaian dan ketepatan sistem pengukuran untuk pengukuran kadar aliran.

From (i), discuss the suitability and accuracy of the measuring system for flow measurement.

(10 marks)

3. (a) Menggunakan contoh yang sesuai, jelaskan pengertian elemen masa mati. Tanpa membuat pengiraan matematik yang mendalam, secara ringkasnya, terangkan sambutan dinamik peralatan masa mati terhadap input langkah, tajakan dan impuls.

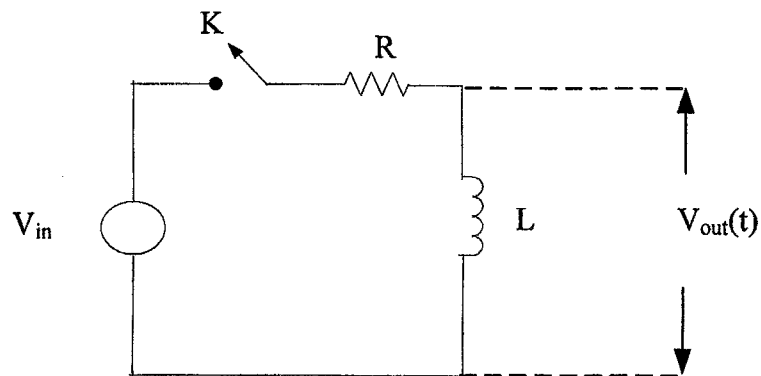
Using suitable examples, explain clearly the meaning of dead-time element. Without performing detailed mathematical calculations, describe briefly the dynamic response of dead time instrument to step, ramp and impulse inputs.

(40 marks)

- (b) Litar setara bagi sebuah sistem pengukuran sesaran diberikan di dalam Rajah 3(b).

The equivalent circuit of some displacement measuring system is shown in Figure 3(b).

...7/-



Rajah 3(b)
Figure 3(b)

Untuk mempelajari sifat-sifat dinamik litar yang ditunjukkan di dalam Rajah 3(b), suis 'K' ditutup pada $t=0$ mengakibatkan bateri V_{in} dikenakan kepada litar. Pada $t \geq 0$,

In order to study the dynamic characteristics of a circuit shown in Figure 3(b), switch "K" is closed at $t = 0$ and the battery V_{in} is impressed on the circuit. At $t \geq 0$,

- (i) Tentukan fungsi pindah sistem.

Determine the transfer function of the system.

(20 marks)

- (ii) Daripada (a) atau sebaliknya, tentukan tertib sistem.

From (a) or otherwise, determine the order of the system.

(7 marks)

...8/-

- (iii) Jikalau $R = 1 \text{ k}\Omega$ dan $V_{in} = 100 \text{ V}$, pemalar masa sistem untuk membolehkan V_{out} dikurangkan sebanyak 90% dari nilai awalnya si dalam 1 ms. Seterusnya, tentukan induktan L untuk membolehkan ini berlaku.

If $R = 1 \text{ k}\Omega$ and $V_{in} = 100 \text{ V}$, calculate the system time constant to enable V_{out} to be reduced by 90% from its initial value in 1 ms. Hence, determine the unknown inductance L for this to happen.

(20 marks)

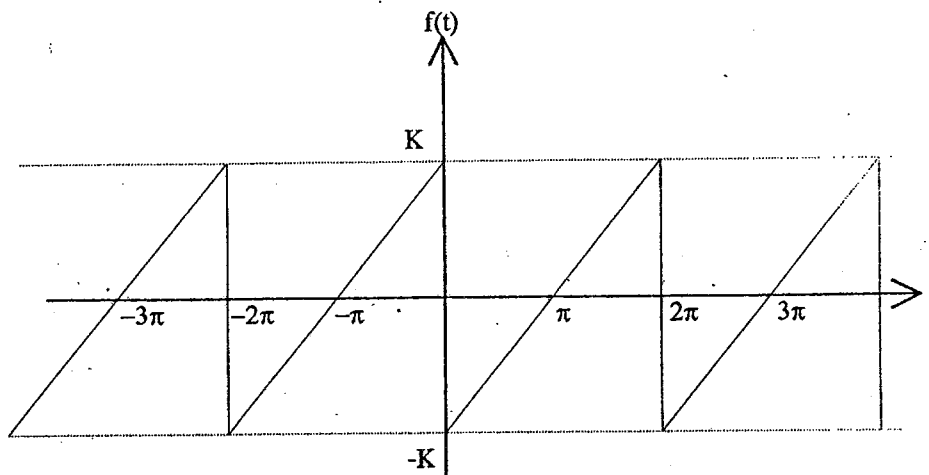
- (iv) Daripada (iii) dan jikalau input kepada sistem ialah fungsi sinusoidal $V_{in} = 100 \sin 20t$, kira ralat dinamik.

From (iii) and if the input to the system is a sinusoidal function $V_{in} = 100 \sin 20t$, calculate the dynamic error.

(13 marks)

4. (a) Terbitkan sebutan Fourier dan seterusnya lakarkan spektrum frekuensi gelombang yang ditunjukkan di dalam Rajah 4(a).

Find the Fourier expression and hence sketch the frequency spectrum of the wave form shown in Figure 4(a).



Rajah 4(a)
Figure 4(a)

...9/-

Diberikan:

Given:

$$\int \sin ax dx = -\frac{\cos ax}{a}$$

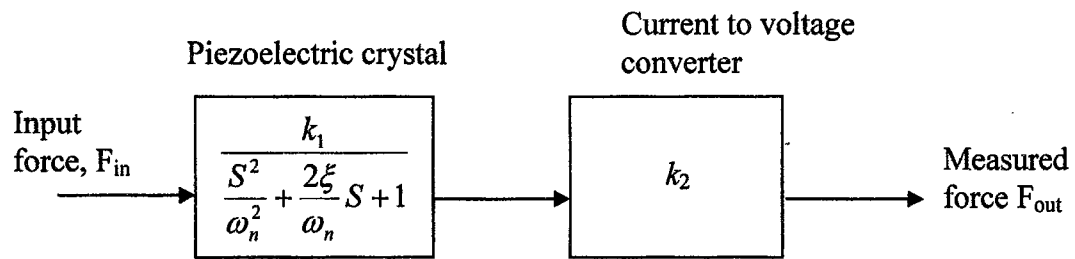
$$\int x \sin ax dx = \frac{\sin ax}{a^2} - \frac{x \cos ax}{a}$$

(40 marks)

- (b) Sebuah sistem pengukuran daya yang mengandungi kristal piezoelektrik dan penukar arus ke voltan. Sifat-sifat dinamik dinamik elemen piezoelektrik diwakili oleh fungsi pindah tertib ke dua dengan sensitivity keadaan mantap $k_1 = 1000$, frekuensi semulajadi $\omega_n = 10$ rad/s dan koefisien redaman $\xi = 0.5$. Sifat-sifat dinamik penukar arus ke voltan pula diberikan oleh fungsi pindah bertertib sifar dengan penguat uniti k_2 . Rajah 4(b) memberikan gambarajah blok system pengukuran.

A force measurement system consists of the piezoelectric crystal and a current to voltage converter. The dynamic characteristic of the piezoelectric element is represented by the second order transfer function with a steady state sensitivity of $k_1 = 1000$, natural frequency of $\omega_n = 10$ rad/s and damping coefficient of $\xi = 0.5$. The dynamic characteristic of the current to voltage converter is given by the zero order transfer function with unity gain, k_2 . Figure 4(b) gives the block diagram of the measuring system.

...10/-



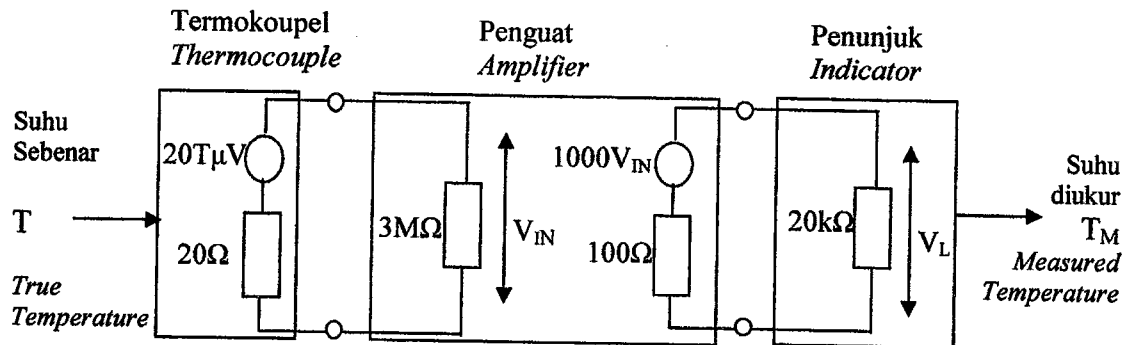
Rajah 4(b)
Figure 4(b)

Jikalau perubahan masa bagi daya F_{in} adalah gelombang seperti yang ditunjukkan di dalam Rajah 4(a), kira ralat dinamik sehingga 4 harmonik.

If the time variation of an input force F_{in} is a waveform shown in Figure 4(a), calculate the dynamic error up to four harmonics.

(60 marks)

5.



Rajah 5(a)
Figure 5(a)

- (a) Rajah 5(a) menunjukkan litar setara Thevenin bagi suatu sistem pengukur suhu. Penguat tersebut berfungsi sebagai beban bagi termokoupel dan sebagai sumber voltan bagi penunjuk.

Figure 5(a) shows the Thevenin equivalent circuit for a temperature measurement system. The amplifier acts both as a load for the thermocouple and as a voltage source for the indicator.

Tentukan

Determine

- (i) voltan output, V_L ,
the output voltage, V_L .

(15 marks)

... 12/-

- (ii) suhu diukur, T_M . Anggapkan perubahan 1 V dalam V_L menyebabkan perubahan deflesi 25C.

the measured temperature, T_M . Assume that a change of 1 V in V_L causes a change in deflection of 25C.

(15 marks)

- (iii) ralat beban

the loading error

(15 marks)

- (b) Bagi suatu isyarat rawak, terangkan lima kuantiti statistik yang boleh digunakan untuk memberi suatu anggaran yang baik bagi kelakuan mass depan isyarat tersebut, berdasarkan tempoh pemerhatian sekarang. Berikan anggapan-anggapan yang digunakan.

For a random signal, explain five statistical quantities that can be used to provide a good estimate of the future behaviour of the signal, based on the current observation period. State what are the assumptions adopted.

(25 marks)

- (c) Apakah itu nisbah kuasa isyarat-ke-bising?

Bagi suatu penguat dengan voltan output 4V, voltan bising output 0.005V, dan rintangan input dan output 50 Ω , tentukan nisbah kuasa isyarat-ke-bising.

What is the signal-to-noise power ratio?

For an amplifier with an output voltage of 4V, an output noise voltage of 0.005V, and an input and output resistance of 50 Ω , determine the signal-to-noise power ratio.

(30 marks)

...13/-

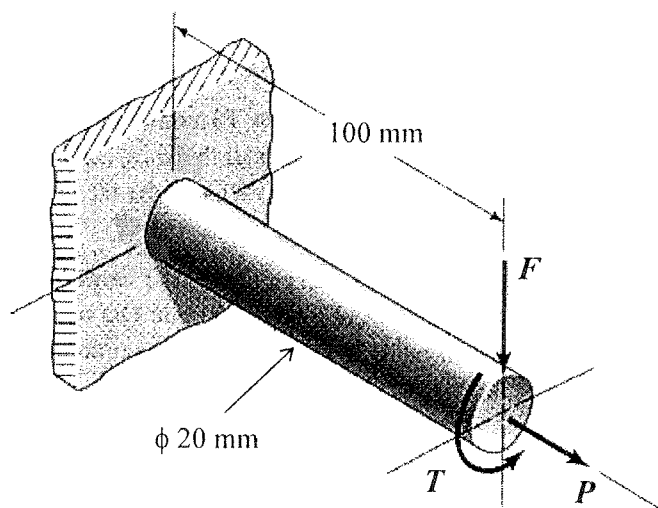
6. (a) Terangkan kenapa **faktor keselamatan** perlu dipertimbangkan apabila mereka bentuk anggota-anggota mesin yang dikenakan beban luar.

*Explain why it is necessary to consider **factor of safety** when designing machine members that are subjected to external loads.*

(10 marks)

- (b) Rajah 6 menunjukkan bar bergarispusat 20 mm diperbuat daripada keluli guling AISI 1015 ($S_y = 314 \text{ MPa}$) yang dikenakan beban lentur, kilasan dan beban paksi di mana $F = 0.60 \text{ kN}$, $P = 8.0 \text{ kN}$ dan $T = 40 \text{ Nm}$.

Figure 6 shows a 20 mm diameter bar made from AISI 1015 rolled steel ($S_y = 314 \text{ MPa}$) that is subjected to bending, torsion and axial load, where $F = 0.60 \text{ kN}$, $P = 8.0 \text{ kN}$ and $T = 40 \text{ Nm}$.



Rajah 6
Figure 6

...14/-

- (i) Dengan bantuan lakaran, tunjukkan titik yang mengalami tegasan tegangan maksimum, yakni titik genting. Terangkan kenapa titik ini mempunyai tegasan tegangan maksimum.

With the aid of a sketch, show the point that is subjected to maximum tensile stress, i.e. the critical point. Explain why this point has the maximum tensile stress.

- (ii) Kira tegasan normal maksimum dan tegasan ricih maksimum pada titik genting tersebut.

Calculate the maksimum normal stress and the maximum shear stress at the critical point.

- (iii) Kira faktor keselamatan pada titik genting berdasarkan teori kegagalan tegasan normal. Berikan rumusan anda sama ada bar tersebut akan gagal dalam servis.

Calculate the factor of safety at the critical point based on maximum normal stress theory of failure. Give your comments whether the bar will fail in service.

(90 marks)

Given:

For rod of diameter d , $I_{xx} = \frac{\pi d^4}{64}$, $J = \frac{\pi d^4}{32}$

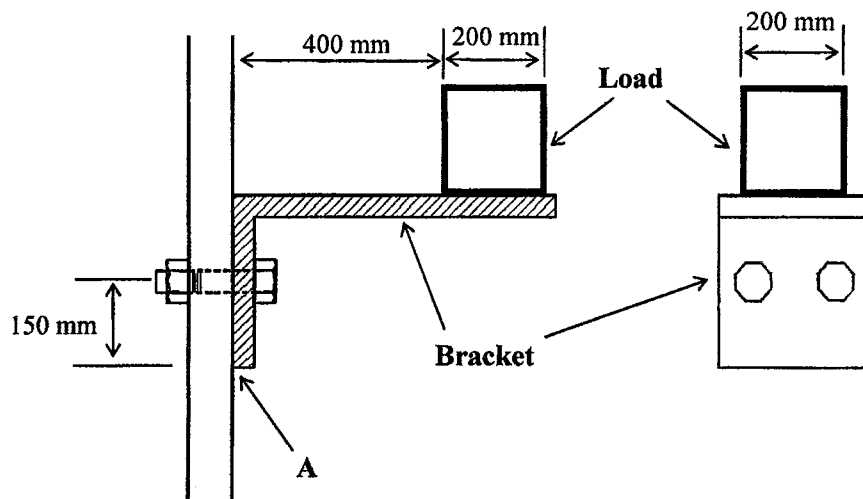
Maximum and minimum normal stresses,

$$S_{n(\max, \min)} = \frac{S_x + S_y}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{S_x - S_y}{2}\right)^2 + \tau_{xy}^2}$$

...15/-

7. (a) Rajah 7 menunjukkan pendakap yang dibeban secara menegak dan dipasangkan pada anggota tetap oleh dua bolt yang diletakkan mendatar. Beban 1.2 kN diletakkan di atas pendakap seperti ditunjukkan. Beban tersebut boleh dianggarkan bertindak melalui pusat jisimnya. Setiap bolt diketatkan dengan beban awal 0.1 kN.

Figure 7 shows a vertically loaded bracket attached to a fixed member by two bolts placed horizontally apart. A load of weight 1.2 kN is placed on the bracket as shown. The weight can be considered to act through the center of mass of the load. Each bolt is tightened with a preload of 0.1 kN.



Rajah 7
Figure 7

- (i) Dengan menganggapkan bahawa pendakap tersebut cuba berputar sekitar titik A, kira daya tegangan luaran pada setiap bolt.

Assuming that the bracket tends to rotate about point A, calculate the external tensile load on each bolt.

...16/-

- (ii) Jika kekakuan anggota-anggota yang teragit ialah empat kali ganda kekakuan bahan bolt, tentukan beban bolt yang terhasil dan daya pengapitan sambungan tersebut.

If the stiffness of the clamped members is four times the stiffness of the bolt material, determine the resulting bolt load and the joint clamping force.

(60 marks)

- (b) Galas bebola jejari mempunyai kapasiti kadaran 4.5 kN bagi hayat 90×10^6 putaran dengan kebolehpercayaan 90%. Galas tersebut digunakan dalam aplikasi di mana terdapat kejutan berat ($K_a = 2.5$). Syaf berputar pada kelajuan 3750 psm dan galas tersebut dikenakan beban jejari setara 2000 N. Tentukan hayat galas dalam jam bagi kebolehpercayaan 90% ($K_r = 1.0$). Cadangkan satu cara untuk memanjangkan hayat galas tersebut.

A radial ball bearing has a rated capacity of 4.5 kN for 90×10^6 revolution life with 90% reliability. The bearing is used in an application where there is heavy impact shock ($K_a = 2.5$). The shaft rotates at 3750 rpm and the bearing is subjected to an equivalent radial load of 2000 N. Determine the life of the bearing in hours for 90% reliability ($K_r = 1.0$). Suggest one method of extending the life of this bearing.

Diberikan persamaan hayat galas:
$$L = K_r L_R \left(\frac{C}{F_e K_a} \right)^{\frac{10}{3}}$$

Given the bearing life equation:
$$L = K_r L_R \left(\frac{C}{F_e K_a} \right)^{\frac{10}{3}}$$

(40 marks)

ooo0ooo